

УДК 614.8

С. М. Шахов, PhD, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-9161-1696)
С. А. Виноградов, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0003-2569-5489)
А. С. Мельниченко, PhD, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-7229-6926)
Д. І. Савельєв, к.т.н., доц. каф. (ORCID 0000-0002-4310-0437)
В. О. Семків, ад'юнкт (ORCID 0000-0002-1584-4754)
Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ЛЮДЕЙ ПІД ЧАС ПОВІТРЯНОЇ ТРИВОГИ

Об'єктом дослідження є тривалість евакуації у разі повітряної тривоги до укриття на прикладі об'єкта з масовим перебуванням людей, що розміщений у прифронтовому регіоні. Незважаючи на значну кількість досліджень присвячених евакуації, переважна частина з них розглядалась саме при виникненні пожеж. Відповідно до цього надавались рекомендації щодо підвищення ефективності евакуації за допомогою різноманітних способів. Але досі не розглядалось питання тривалості руху людей до укриття під час ракетної загрози за сигналом повітряна тривога. Розроблено 3-D модель будівлі, що розташована в прифронтовому регіоні відповідно до об'ємно-планувальних рішень. Проаналізовано джерела відкритої інформації щодо кількості обстрілів регіону, де знаходиться об'єкт. Станом на кінець 2023 року зареєстровано 47 випадків. Середній час підльоту ракет до міста, де розміщено об'єкт, складає 30–40 с. Згідно з цим встановлено критерії безпечного часу, що необхідний для досягнення укриття. При розміщенні людей на 1–6 му поверсі тривалість евакуації до укриття становить 92,8 с, при швидкості руху 1,66 м/с. У цьому випадку лише 33 %, а саме 40 людей встигають дістатися укриття за 40 с. Решті 67 %, а саме 81 людини необхідно ще 52,8 с, щоб встигнути дістатися безпечного місця у разі загрози ракетної небезпеки під час сигналу повітряна тривога. Оптимізовано місце розміщення людей у приміщеннях об'єкта з масовим перебуванням людей та надано рекомендації щодо швидкості руху до укриття. Належне забезпечення своєчасної евакуації залежить від швидкості руху та місця знаходження людей на поверххах будівлі. Для даного об'єкту оптимальним рішенням, яке забезпечує збереження життя 95 % людей від загальної кількості є негайний відгук на сигнал тривоги, заборона розміщення людей вище за 1-й поверх, та рух зі швидкістю не менше ніж 8 км/год.

Ключові слова: евакуація, укриття, споруди цивільного захисту, повітряна тривога, Path Finder, PyroSim

1. Вступ

24 лютого 2022 року на території України було зареєстровано надзвичайну ситуацію (НС) військового характеру. Протягом останніх двох років питання забезпечення безпеки громадян стає не тільки актуальним, але й вельми критичним, зокрема на об'єктах з масовим перебуванням людей.

Належний рівень безпеки цивільних в умовах воєнного стану, зокрема під час загрози ракетних обстрілів, досягається шляхом забезпечення будівель, де знаходяться люди, спорудами цивільного захисту, до яких відносять і укриття.

До споруд цивільного захисту висуваються певні будівельні вимоги, за рахунок яких мінімізується можливість ураження цивільного населення при ракетних обстрілах. Також розробляються заходи з метою забезпечення належних умов тимчасового, у тому числі довгострокового перебування людей в укриттях. Система виявлення загрози ракетних обстрілів дозволяє попередити цивільних осіб про можливу небезпеку за рахунок сигналів повітряної тривоги.

Залежно від місця знаходження області або міста на території країни, необхідна різна тривалість часу для досягнення укриття. Натурні дослідження цього питання на сьогодні не можливі, що зумовлено реаліями загрози життю та здоров'ю, але альтернативними інструментами є сучасні програмні продукти для моделювання евакуації.

За рахунок таких програмних продуктів на існуючих об'єктах з масовим перебуванням людей є змога досліджувати процес евакуації за сигналом повітряної тривоги та розробляти певні заходи та рішення, спрямовані на підвищення безпеки у разі ракетної загрози.

Таким чином, забезпечення безпеки людей під час повітряної тривоги є актуальною проблемою.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Переважно питання тривалості евакуації з будівель з масовим перебуванням людей розглядалось при пожежах на різноманітних об'єктах.

У роботі [1] досліджено евакуацію на прикладі об'єкта охорони здоров'я під час пожежі. Обґрунтовано доцільність використання пожежних ліфтів. У результаті досліджень виявлено, що без застосування пожежних ліфтів загальний час евакуації становить 1112 с. У разі проведення евакуації із використанням пожежних ліфтів загальний час евакуації зменшується до 863 с. Питання забезпечення евакуації в разі виникнення сигналу повітряна тривога в роботі не розглядалось.

У роботі [2] проведено дослідження щодо моделювання евакуації з торгового комплексу під час пожежі. Встановлено взаємозв'язок між часом та виникненням скупчень на певних ділянках евакуації. Автори розділяють загальну тривалість евакуації на три етапи. Перша стадія становить 0–600 с, що є періодом швидкого зростання, і зв'язок між кількістю евакуйованих і часом має позитивну пропорційність. Швидкість евакуації в цей період висока, і більша частина евакуації завершена, але серйозні затори виникають на деяких виходах протягом 30–480 с цього етапу. Друга стадія – це 600–800 с, яку можна описати як період повільного росту, оскільки в цей час швидкість евакуації починає значно зменшуватися. Третій етап – після 800 с. Швидкість евакуації зростає повільно порівняно з попередньою, і значно знижується у частині евакуаційних сходів. Авторами не проведено жодних досліджень чи висновків щодо застосування такого методу при евакуації під час повітряної тривоги.

Авторами [3] досліджено параметри евакуації з приміщення театру з одночасним моделюванням пожежі. Виявлено зв'язок між блокуванням шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі. Однак авторами не розглядалась евакуація людських потоків в разі отримання сигналу про повітряну тривогу з обмеженим безпечним часом.

У роботі [4] досліджено швидкість зміни температури, видимості, висоти диму та теплового потоку на прикладі промодельованої пожежі в гуртожитку. Досліджено тривалість евакуації в умовах горіння обраної пожежної навантаги. У результаті надано рекомендації щодо мінімальної ширини вихідних дверей, яка повинна бути не менше 3 м, а ширина сходів – не менше 1,75 м. Однак такий підхід і отримані результати не можуть бути застосовані при евакуації за сигналом тривога через різні безпечні часи у випадку пожежі та у випадку загрози ракетного обстрілу.

Авторами [5] досліджено тривалість евакуації при пожежі на прикладі приміщення будівлі університету. Визначено час блокування евакуаційних шляхів та виходів небезпечними чинниками пожежі. У результаті надано рекомендації, щодо підвищення рівня пожежної безпеки шляхом встановлення систем протипожежного захисту, які натомість не несуть практичної цінності у випадку евакуації за сигналом тривога.

У роботі [6] досліджено процес евакуації з житлової будівлі в умовах пожежі. Авторами порівняно різні стратегії руху та їх вплив на загальну тривалість евакуації. Встановлено, що на 400 с, видимість на евакуаційному виході панельної квартири нижче 5 м, а блокування шляхів та евакуаційних виходів відбувається на 360 с. При першому сценарії визначено, що загальний час евакуації склав 398,7 с. При повторному моделюванні зі зміною стратегії руху встановлено, що час необхідний для евакуації становить 355,2 с, що відповідає вимогам належного рівня пожежної безпеки об'єкта. Недоліком роботи є те, що авторами розглянуто житлову будівлю, об'ємно-планувальні рішення якої відрізняються від типових об'ємно-планувальних рішень об'єкта з масовим перебуванням людей. До того ж питання евакуації за сигналом тривоги в роботі не розглядалися.

Авторами [7] проведено дослідження щодо евакуації з виробничого цеху, із моделюванням горіння пожежної навантаги. У роботі розглянуто час блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі. За існуючої схемою евакуації блокування евакуаційних виходів спостерігалось раніше, ніж остання людина встигала залишити виробничий цех. У результаті автори пропонують посилити навчання з питання стратегій руху людей. Однак треба зазначити, що рух людських потоків при евакуації з типового виробничого приміщення суттєво відрізняється від руху людських потоків при евакуації з будівлі з масовим перебуванням людей, тому отримані результати не можуть бути застосовані у випадку евакуації з таких будівель. Ще одним недоліком є те, що автори не враховували евакуацію у разі загрози ракетного обстрілу, а лише у випадку пожежі.

Авторами [8] як типове громадське місце при моделюванні евакуації обрано університетську бібліотеку з пожежним навантаженням. У результаті встановлено, що тривалість евакуації становив 739 с. За допомогою управління стратегією евакуації цей час був скорочений до 638 с, що ефективніше на 13,67 %. Автори стверджують, що ефективність евакуації можна значно підвищити шляхом збільшення вказівок щодо трансляції, додавання знаків, розширення сходів та інших пропозицій щодо оптимізації. Однак такий підхід не може бути застосований у випадку евакуації за сигналом повітряна тривога, оскільки безпечний час у такому випадку критично малий і на нього не можуть вплинути більшість із запропонованих заходів.

У [9, 10] виявлено основні проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної та середньої освіти з інклюзивними групами та сучасний стан питання евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків при пожежі. Питання евакуації маломобільних груп у випадку загрози ракетного обстрілу авторами в роботі не розглядалось.

Незважаючи на значну кількість досліджень присвячених евакуації, переважна частина з них розглядалась саме при виникненні пожеж. Відповідно до цього надавались рекомендації щодо підвищення ефективності евакуації за допомогою різноманітних способів. Але досі не розглядалось питання тривалості руху людей до укриття під час ракетної загрози за сигналом повітряна тривога.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є відсутність даних щодо тривалості руху людей до укриття під час тривоги.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення рівня безпеки людей під час повітряної тривоги на прикладі об'єкта з масовим перебуванням людей.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- дослідити тривалість евакуації за сигналом повітряної тривоги до укриття на прикладі об'єкта з масовим перебуванням людей;
- оптимізувати місця розміщення людей у приміщеннях об'єкта з масовим перебуванням людей та надати рекомендації щодо швидкості руху до укриття.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єкт дослідження – тривалість евакуації у разі повітряної тривоги до укриття.

Предмет дослідження – вплив швидкості руху та місця розміщення людей на тривалість евакуації до укриття.

Основна гіпотеза полягає в тому, що при знаходженні людей на об'єктах з масовим перебуванням людей у прифронтових регіонах є загроза безпеці, у тому числі із наявним укриттям в будівлі.

Дослідження проводили методом моделювання із використанням програмних забезпечень PyroSim та PathFinder (країна походження США).

5. Результати підвищення рівня безпеки людей під час повітряної тривоги

5.1. Результати дослідження тривалості руху людей до укриття під час тривоги

Як модель об'єкта з масовим перебуванням людей обрано будівлю закладу освіти, розташованого у прифронтовому регіоні. Модель будівлі розроблено у програмному забезпеченні PyroSIM відповідно до існуючих об'ємно-планувальних рішень. Загальний вигляд створеної моделі будівлі подано на рис. 1.

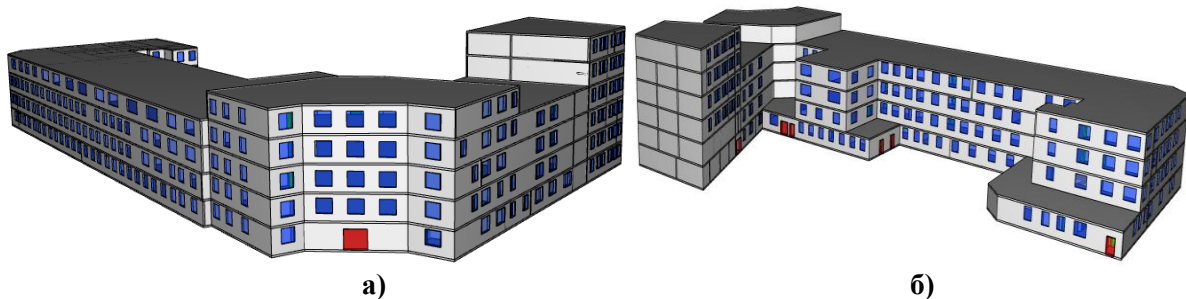


Рис. 1. Загальний вигляд створеної моделі будівлі: а) фронтальний вигляд; б) вигляд корпусу із внутрішнього двору

У будівлі передбачено укриття, що розташовано у підвальному поверсі. Шляхи до укриття з будівлі пролягають через три сходові клітини (рис. 2).



Рис. 2. Сходові клітини, що ведуть до укриття, розміщеного у підвальному поверсі

Кількість входів до укриття – три, серед яких два розміщено ззовні будівлі та один з середини.

За аналізом попередньої інформації було визначено кількість, місце розміщення та параметри агентів для моделювання, що подано у табл. 1.

Табл. 1. Параметри агентів евакуації [11]

Характеристика людей	
Категорія M1	люди без обмежень по здоров'ю
Швидкість руху, м/с	1,66
Площа горизонтальної проекції, м ²	0,125 (зимовий одяг)
Кількість людей	
1 поверх (група № 1)	31
2 поверх (група № 2)	33
3 поверх (група № 3)	27
4 поверх (група № 4)	19
5 поверх (група № 5)	7
6 поверх (група № 6)	4
Загальна кількість	121 особа
Укриття	
Вхід № 1	Зсередини будівлі, під сходами у 6-ти поверхової будівлі
Вхід № 2	Ззовні будівлі, вхід із внутрішнього двору
Вхід № 3	Ззовні будівлі, вхід із внутрішнього двору
Характеристика стратегій руху	
1.	Рух будь-якими маршрутами до найближчого входу в укриття

Місце розміщення агентів у приміщеннях на поверхах корпусу подано на рис. 3.

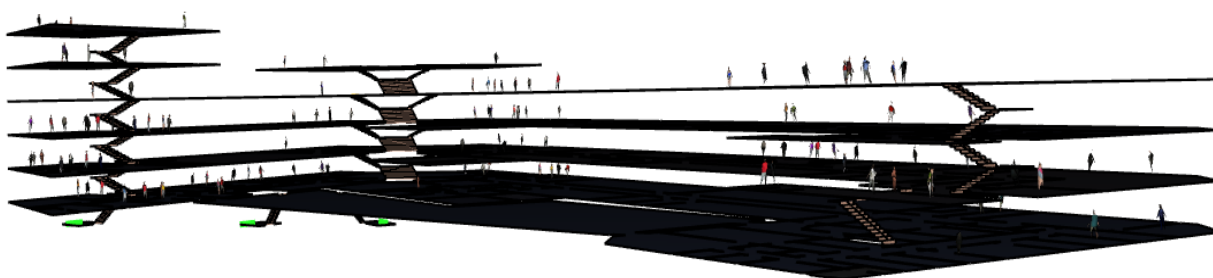


Рис. 3. Місце розміщення агентів у приміщеннях на поверхах корпусу

За інформацією з відкритих інтернет-джерел у табл. 2 подано кількість обстрілів регіону з оголошенням сигналу «повітряна тривога» ракетами із влучанням в цивільні об'єкти.

Найчастіше у досліджуваному регіоні атаки завдаються ракетами типу С-300/400. Як критерій часу безпечної евакуації було використано час «підльоту» такого типу ракет, який відповідно складає 30–40 с.

Слід зауважити, що обмеженням даного дослідження є відсутність впливу людського чинника, а саме час «відгуку» на сигнал повітряної тривоги. Зроблено

припущення, що всі люди свідомо реагують, та починають рухатися одразу після отримання сигналу.

Табл. 2. Кількість обстрілів регіону за 2022-2023 рік [12]

2022 рік								Кількість
Липень	14.07	27.07	30.07	31.07				4
Серпень	03.08	06.08	07.08	12.08	18.08	19.08	28.08	7
Вересень	02.09	03.09	04.09	06.09	11.09			5
Жовтень	04.10	08.10	13.10	31.10				4
Листопад	03.11	13.11	15.11	18.11				4
Грудень	22.12	29.12						2
2023 рік								
Січень	14.01	29.01						2
Лютий	05.02	07.02	10.02	11.02	16.02	22.02		6
Березень	09.03	15.03	31.03					3
Квітень	22.04							1
Травень	14.05							1
Червень	24.06							1
Липень	31.07							1
Вересень	16.09	21.09						2
Листопад	12.11							1
Грудень	08.12	20.12	29.12	30.12				4
Загальна кількість ударів								
47								
Тип ракет		С/300–400						
Час підльоту		30–40 с						

На рис. 4 подано результати дослідження тривалості евакуації за сигналом «повітряна тривога» з урахуванням параметрів поданих у табл. 1.

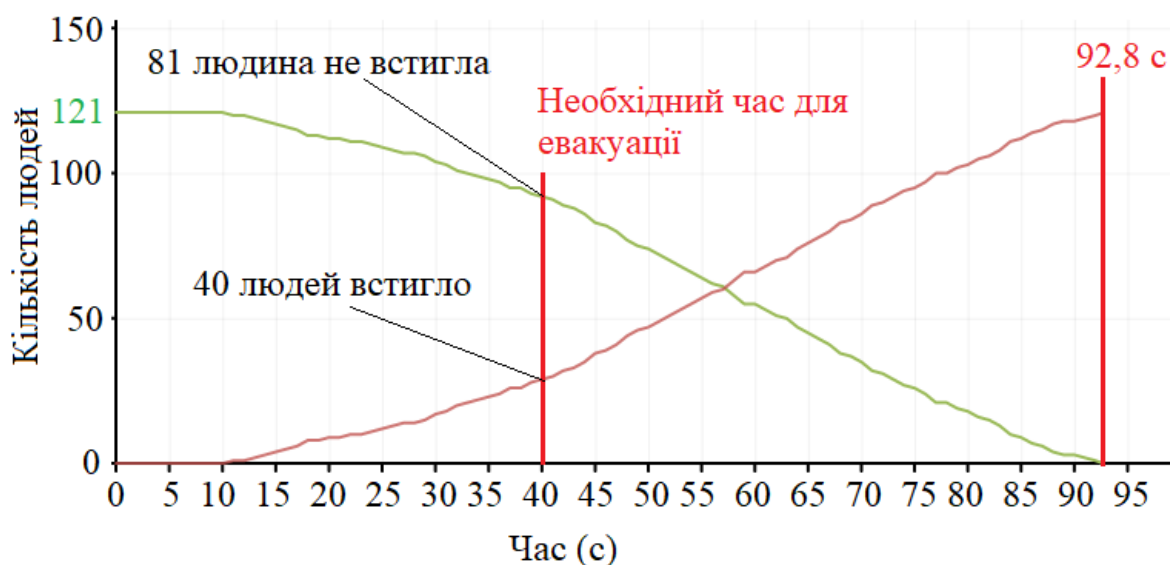


Рис. 4. Час евакуації до укриття за сигналом повітряної тривоги

Наступним кроком є моделювання евакуації людей при різній інтенсивності руху та розміщенні у приміщеннях з таким чином, щоб забезпечити своєчасне досягнення укриття.

5.2. Оптимізація розміщення людей та рекомендації щодо швидкості руху до укриття

Враховуючи важливість необхідності потрапляння в укриття, зроблено припущення, що люди будуть рухатися зі швидкістю середнього бігу для людини, а саме 8 км/г, що становить 2,21 м/с, але лише по горизонтальних шляхах евакуації. Для сходів униз швидкість залишається 1,66 м/с. Результати подано на рис. 5.

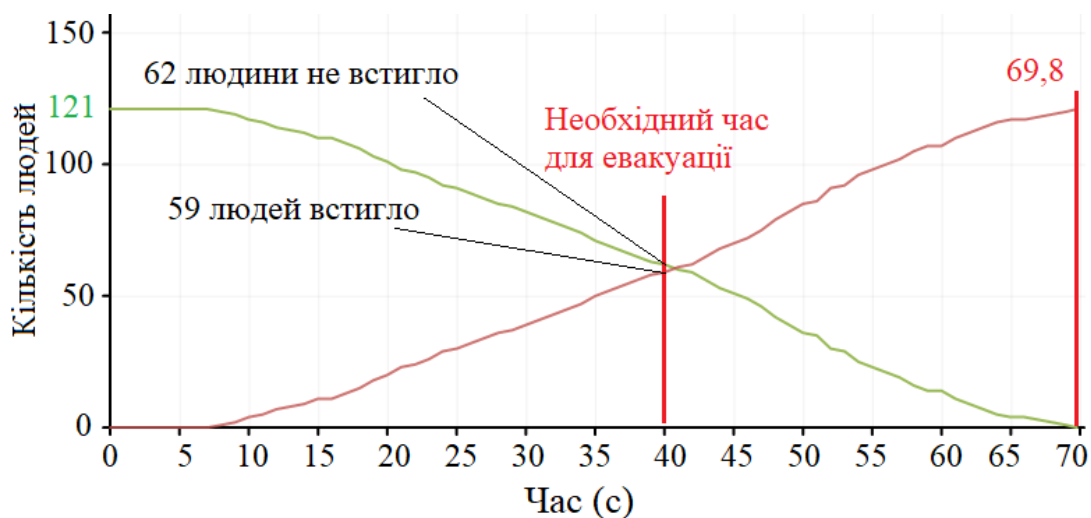


Рис. 5. Тривалість руху до укриття зі збільшенням швидкості руху до 2,21 м/с

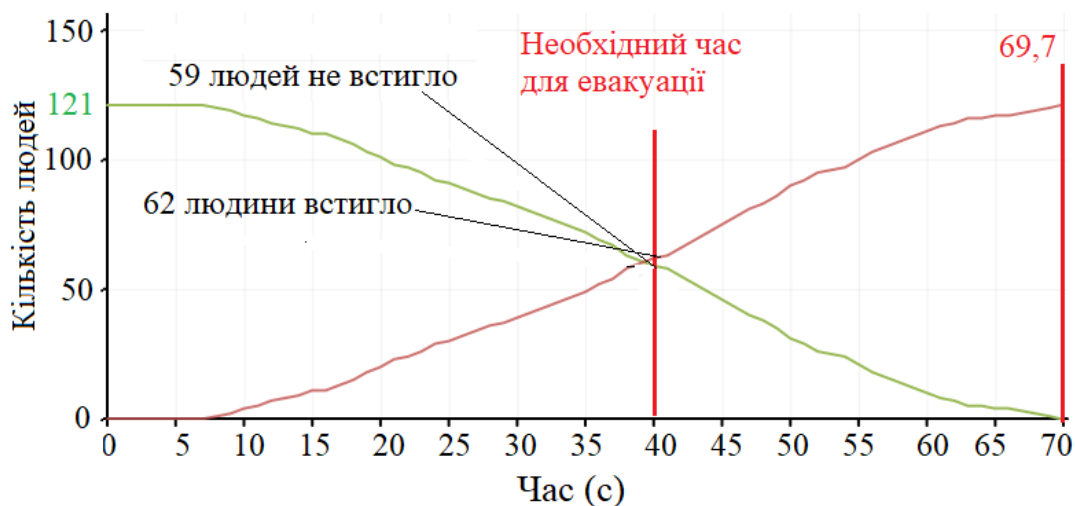


Рис. 6. Тривалість руху до укриття при розташуванні людей на 1–4 поверсі зі швидкістю руху 2,21 м/с

На рис. 7 подано залежність часу евакуації у разі розміщення людей на 1–3 поверсі.

На рис. 8 подано залежність часу евакуації у разі розміщення людей на 1–2 поверсі.

На рис. 9 подано залежність часу евакуації у разі розміщення людей тільки на поверсі.

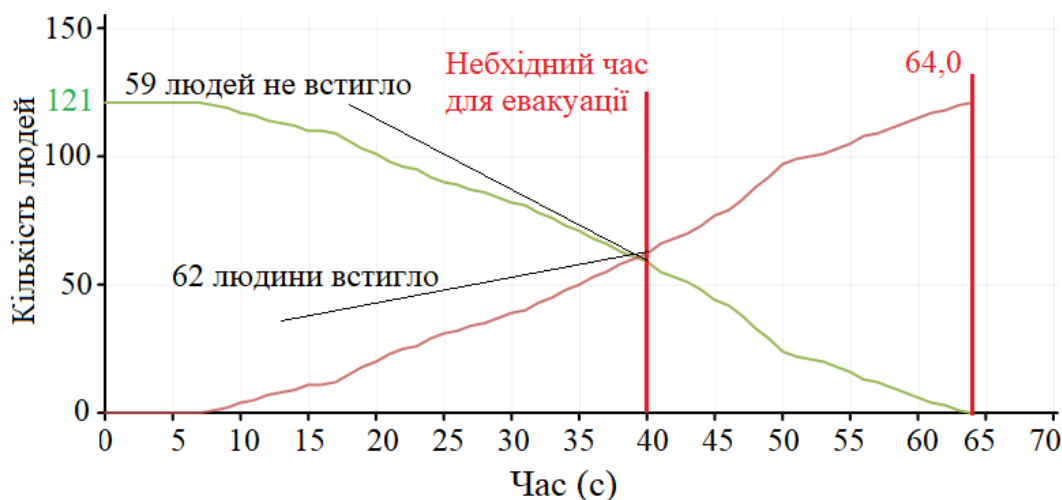


Рис. 7. Час руху до укриття при розташуванні людей на 1-3 поверсі зі швидкістю руху 2,21 м

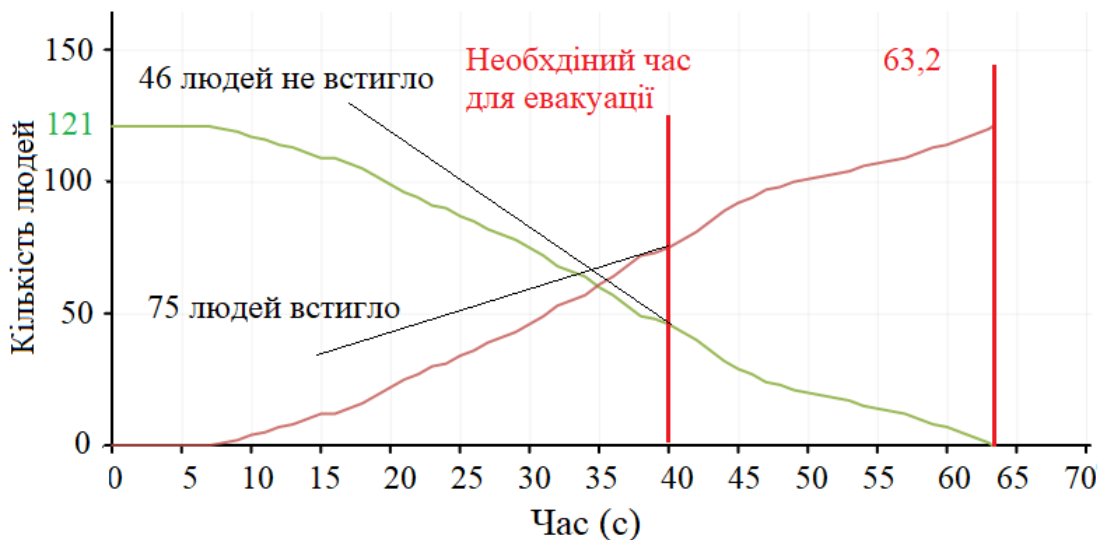


Рис. 8. Час руху до укриття при розташуванні людей на 1-2 поверсі зі швидкістю руху 2,21 м

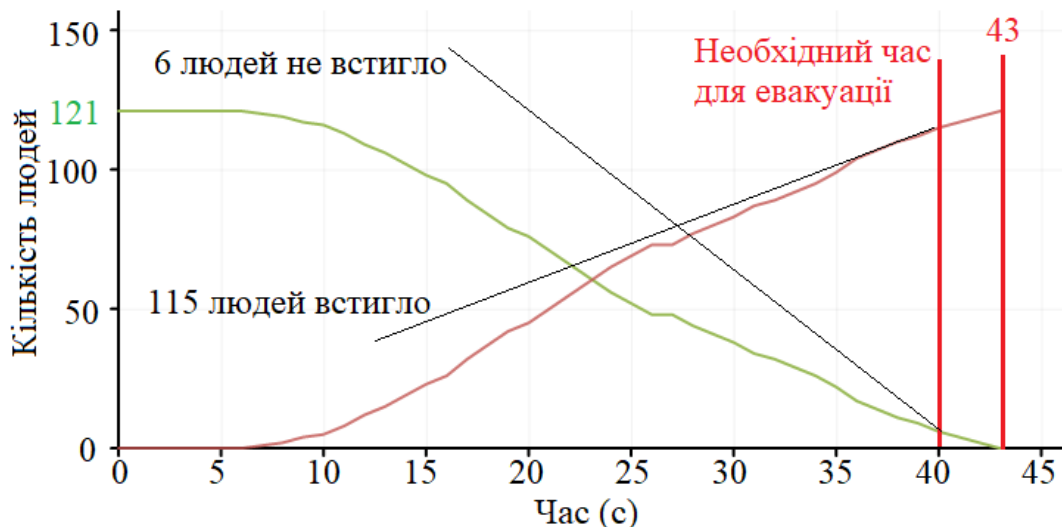


Рис. 9. Час руху до укриття при розташуванні людей на 1 поверсі зі швидкістю руху 2,21 м

Зведені результати дослідження подано у табл. 3.

Табл. 3. Результати дослідження часу евакуації при зміні швидкості та розташуванні агентів на поверхах

Отримані результати		Час евакуації, с	% евакуйованих за 40 секунд
Без пропозицій		92,8	33 %
Пропозиції			
№ 1	V=2,21 м/с	69,8	49 %
№ 2	Всі особи знаходяться на 1–5 поверсі	69,8	
№ 3	Всі особи знаходяться на 1–4 поверсі	69,7	51 %
№ 4	Всі особи знаходяться на 1–3 поверсі	64,0	
№ 5	Всі особи знаходяться на 1–2 поверсі	63,2	62 %
№ 6	Всі особи знаходяться на 1 поверсі	43,0	95 %

Отже, за результатами моделювання евакуації під час повітряної тривоги встановлено оптимальну швидкість руху та місце розміщення людей в будівлі, за яких 95 % від кількості осіб встигають потрапити в укриття за сигналом повітряна тривога.

6. Обговорення результатів підвищення рівня безпеки людей під час повітряної тривоги

Аналізуючи результати (рис. 4) при розміщенні людей на 1–6 поверсі, загальний час евакуації склав 92,8 с, при швидкості руху 1,66 м/с. Виявлено, що лише 33 %, а саме 40 людей встигають дістатися укриття за 40 с. Решті 67 %, а саме 81 людині необхідно ще 52,8 с, щоб встигнути дістатися безпечного місця у разі загрози ракетної небезпеки під час сигналу повітряна тривога.

При підвищенні швидкості руху до 2,21 м/с загальний час евакуації (рис. 5) склав 69,8 с. При цьому встигає евакууватись на 15 осіб більше за 40 с, що складає 48 %. Решта 52 %, а саме 62 людині необхідно ще 39 с, щоб встигнути дістатися безпечного місця у разі загрози ракетної небезпеки. Загалом час евакуації знижується на майже на 25 %.

При розміщенні людей на 1–5 – му поверсі результати тривалості евакуації не змінилися. Також виявлено (рис. 6), що не має впливу на загальний час евакуації переміщення людей з 5 та 6 поверху на нижче розташовані поверхи. Різниця лише полягає у підвищенні кількості людей, що встигають дістатися укриття на 40 с, але не суттєва, лише на 3 особи більше.

При розміщенні людей тільки на 1–3 поверсі час евакуації (рис. 7) становить 64 с, що на майже на 6 с нижче за час, який потрібен для евакуації у разі розміщення людей на 1–4/1–5/1–6 – му поверхах. На 40 с змін щодо кількості людей, що встигають евакууватись, у порівнянні з кількістю евакуйованих при розміщенні на 1–4 – му поверсі не зафіксовано.

Розміщення людей на 1–2 поверсі, суттєво не впливає на загальний час евакуації (рис. 8) у порівнянні з часом, при розміщенні людей на 1–3 поверсі. Але суттєво впливає на кількість людей, що встигають евакууватись, а саме на 13 людей більше у порівнянні із кількістю, що встигає дістатися укриття при русі з 1–3 поверху.

За результатами встановлено, що найкоротший час евакуації до укриття забезпечено при розміщенні людей на 1 поверсі (рис. 9), але все одно не забезпечено потрапляння усіх людей до укриття за 40 с. Зокрема встигає потрапити до укриття 115 людей, що на 40 більше, у порівнянні із кількістю, що була зафіксована при розміщенні людей на 1–2 поверсі. Не встигає евакууватися лише 6 осіб.

Такі результати евакуації можна пояснити об'єктивними обставинами: малим необхідним часом евакуації та довжиною шляху евакуації у випадку 6-ти поверхової будівлі.

У цьому дослідженні вперше досліджено евакуацію з будівлі з масовим перебуванням людей у випадку отримання сигналу про повітряну тривогу з часом евакуації 40 с. Як обмеження проведеного дослідження слід враховувати, що відгук на сигнал повітряної тривоги відбувався без затримки. У моделюванні агенти розпочинали рух одночасно, одразу за сигналом. Однак в реальності сигнал про повітряну тривогу часто поступає не в момент вильоту ракети, а вже в процесі її польоту, або після першого ракетного влучання по місту. Тому подальші дослідження будуть направлені на встановлення «часу відгуку» на сигнал повітряної тривоги та врахування цього часу при таких дослідженнях.

7. Висновки

1. Досліджено тривалість евакуації за сигналом повітряна тривога до укриття на прикладі об'єкта з масовим перебуванням людей. Розроблено 3-D модель будівлі, що розташований в прифронтовому регіоні відповідно до об'ємно-планувальних рішень. Проаналізовано джерела відкритої інформації, щодо кількості обстрілів регіону, де знаходиться об'єкт. Станом на кінець 2023 року зареєстровано 47 випадків. Середній час підльоту ракет до міста, де розміщено об'єкт, складає 30–40 с. Згідно з цим встановлено критерії безпечного часу, що необхідний для досягнення укриття. При розміщенні людей на 1–6 му поверсі тривалість евакуації до укриття становить 92,8 с, при швидкості руху 1,66 м/с. У цьому випадку лише 33 %, а саме 40 людей встигають дістатися укриття за 40 с. Решті 67 %, а саме 81 людині необхідно ще 52,8 с, щоб встигнути дістатися безпечного місця у разі загрози ракетної небезпеки під час сигналу повітряна тривога.

2. Оптимізовано місця розміщення людей у приміщеннях об'єкта з масовим перебуванням людей та надано рекомендації щодо швидкості руху до укриття. Виявлено наступне:

- при швидкості руху 2,21 м/с та розміщенні на 1–5 та 1–6 поверсі до укриття не встигає потрапити 62 людини, що складає 51 % від загальної кількості людей;
- при швидкості руху 2,21 м/с та розміщенні на 1–3 та 1–4 поверсі до укриття не встигає потрапити 59 людей, що складає 49 % від загальної кількості людей;
- при швидкості руху 2,21 м/с та розміщенні на 1–2 поверсі до укриття не встигає потрапити 46 людей що складає 38 % від загальної кількості людей;
- при швидкості руху 2,21 м/с та розміщенні на 1 поверсі до укриття не встигає потрапити 6 людей що складає 5 % від загальної кількості людей.

Отже, належне забезпечення своєчасної евакуації залежить від швидкості руху та місця знаходження людей на поверхах будівлі. Для даного об'єкту оптимальним рішенням, яке забезпечує збереження життя 95 % людей від загальної кількості є негайний відгук на сигнал тривоги, заборона розміщення людей вище за 1 поверх, та рух зі швидкістю не менше ніж 8 км/год.

Література

1. Hui Z., Hao-cheng L. Simulation of Evacuation in Crowded Places Based on BIM and Pathfinder. *J. Phys.* 2021. Conf. Ser. 1880 012010. P. 1–10. doi:10.1088/1742-6596/1880/1/012010
2. Jiuju L., Shuhan L. Pathfinder-Based Simulation and Optimization of Evacuation of Large Commercial Complexes. *Journal of Building Construction and Planning Research.* 2023. Vol. 11(2). P. 27–35. doi: 10.4236/jbcpr.2023.112002

3. Hui Z. Evacuation Simulation of Large Theater Based on Pyrosim and Pathfinder. *J. Phys.* 2022. Conf. Ser. 2289 012017. P. 1–8. doi: 10.1088/1742-6596/2289/1/012017
4. Xinfeng L., Xueqin Z., Bo L. Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 2017. Vol. 40(3). P. 257–266. doi: 10.1080/02533839.2017.1300072
5. Ming-xin L., Shun-bing Z., Jing-hong W., Zheng Z. Research on Fire Safety Evacuation in a University Library in Nanjing. *Procedia Engineering*. 2018. Vol. 211. P. 372–378. doi: 10.1016/j.proeng.2017.12.025
6. Mufeng X., Xihua Z., Xinxin P., Yanan W. Simulation of emergency evacuation from construction site of prefabricated buildings. *Scientific Reports*. 2022. 12:2732. P. 1–18. doi: 10.1038/s41598-022-06211-w
7. Liu Q., Zhao D., Yang H. Research on emergency evacuation of workshop based on PyroSim and Pathfinder. *Fire Science and Technology*. 2020. Vol. 39(7). P. 927–930. URL: <https://www.xfkj.com.cn/EN/Y2020/V39/I7/927>
8. Heng H., Zhang S., Zhu J., Zhu Z. Evacuation in Buildings Based on BIM: Taking a Fire in a University Library as an Example. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022. Vol. 19(3). P. 23–32. doi: 10.3390/ijerph192316254
9. Хлевной О. В., Харижин Д. Ю., Назаровець Д. В. Проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної та середньої освіти з інклюзивними групами. *Пожежна безпека*. 2020. №37. С. 72–76. doi: 10.32447/20786662.37.2020.11
10. Maiboroda P., Otrosh Yu., Rashkevich H. and Melezhyk P. Assessment of the fire resistance of buildings from fireproof reinforced concrete building structures. *Municipal economy of cities*. 2023. № 4(178). 219–231. doi: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-219-231
11. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Зі змінами № 1 [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 163 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8828_2019.pdf
12. Перелік наземних ударів з С-300/С-400 під час російського вторгнення. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Perelik_nazemnykh_udariv_z_S-300/S-400_pid_chas_rosiiskoho_vtorhnennia

S. Shakhov, PhD, Senior Lecturer of the Department

S. Vinogradov, PhD, Associate Professor, Deputy Head of the Department

A. Melnychenko, PhD, Senior Lecturer of the Department

D. Saveliev, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

V. Semkiv, Adjunct

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

INCREASING THE LEVEL OF PEOPLE'S SAFETY DURING AN AIR ALARM

The object of the study is the duration of evacuation in the event of an air alarm to shelter on the example of an object with a mass presence of people located in the front-line region. Despite a significant number of studies devoted to evacuation, the majority of them were considered in the event of fires. In accordance with this, recommendations were given to increase the efficiency of evacuation using various methods. However, the issue of the duration of people's movement to shelter during a missile threat following an air warning signal has not yet been considered. A 3-D model of the building located in the front-line region was developed in accordance with spatial planning decisions. The sources of open information on the number of shelling in the region where the object is located were analyzed. As of the end of 2023, 47 cases were registered. The average time of approach of missiles to the city where the object is located is 30–40 seconds. According to this, the criteria for the safe time

required to reach the shelter are established. When people are placed on the 1st-6th floors, the duration of evacuation to the shelter is 92,8 seconds, at a speed of movement of 1.66 m/s. In this case, only 33 %, namely 40 people manage to reach the shelter in 40 seconds. The remaining 67 %, namely 81 people, need another 52,8 seconds to reach a safe moon in case of a missile threat during an air alert. Places of placement of people in the premises of the object with a mass stay of people were optimized and recommendations were given regarding the speed of movement to the shelter. Proper provision of timely evacuation depends on the speed of movement and the location of people on the floors of the building. For this object, the optimal solution, which ensures the preservation of the lives of 95 % of people from the total number, is an immediate response to an alarm signal, a ban on placing people higher than 1 floor, and movement at a speed of at least 8 km/h.

Keywords: evacuation, shelter, civil defense facilities, air alarm, PathFinder, PyroSim

References

- Hui, Z., Hao-cheng, L. (2021). Simulation of Evacuation in Crowded Places Based on BIM and Pathfinder. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1880 012010, 1–10. doi: 10.1088/1742-6596/1880/1/012010
- Jiuju, L., Shuhan, L. (2023). Pathfinder-Based Simulation and Optimization of Evacuation of Large Commercial Complexes. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 11(2), 27–35. doi: 10.4236/jbcpr.2023.112002
- Hui, Z. (2022). Evacuation Simulation of Large Theater Based on Pyrosim and Pathfinder. *J. Phys. Conf. Ser.*, 2289, 012017, 1–8. doi: 10.1088/1742-6596/2289/1/012017
- Xinfeng, L., Xueqin, Z., Bo, L. (2017). Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 40(3), 257–266. doi: 10.1080/02533839.2017.1300072
- Ming-xin, L., Shun-bing, Z., Jing-hong, W., Zheng, Z. (2018). Research on Fire Safety Evacuation in a University Library in Nanjing. *Procedia Engineering*, 211, 372–378. doi: 10.1016/j.proeng.2017.12.025
- Mufeng, X., Xihua, Z., Xinxin, P., Yanan, W. (2022). Simulation of emergency evacuation from construction site of prefabricated buildings. *Scientific Reports*, 12:2732, 1–18. doi: 10.1038/s41598-022-06211-w
- Liu, Q., Zhao, D., Yang, H. (2020). Research on emergency evacuation of workshop based on PyroSim and Pathfinder. *Fire Science and Technology*, 39(7), 927–930. Available at: <https://www.xfkj.com.cn/EN/Y2020/V39/I7/927>
- Heng, H., Zhang, S., Zhu, J., Zhu, Z. (2022). Evacuation in Buildings Based on BIM: Taking a Fire in a University Library as an Example. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19(3), 23–32. doi: 10.3390/ijerph192316254
- Khlevnoy, O., Kharyshyn, D., Nazarovets, O. (2020). Problem issues of evacuation time calculation during fires in preschool and secondary education institutions with inclusive groups. *Fire Safety*, 37, 72–76. doi: 10.32447/20786662.37.2020.11
- Maiboroda, P., Otrosh, I., Rashkevich, H., Melezhyk, P. (2023). Assessment of the fire resistance of buildings from fireproof reinforced concrete building structures. *Municipal economy of cities*. 4, 178, 219–231. doi: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-219-231
- DSTU 8828:2019. Fire safety. General principles. Access mode: Available at: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8828_2019.pdf
- Perelik nazemnykh udariv z S-300/S-400 pid chas rosiiskoho vtorhnennia. Rezhym elektronnoho dostupu: Available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Perelik_nazemnykh_udariv_z_S-300/S-400_pid_chas_rosiiskoho_vtorhnennia

Надійшла до редколегії: 02.03.2024

Прийнята до друку: 15.04.2024